

수량 비교 과제의 형식에 따른 아동의 수 민감도 측정치의 구성 타당도 및 예측 타당도 비교*

박 윤 지

조 수 현†

중앙대학교 심리학과

대략적 수 민감도(approximate number sense)란 수량에 대하여 대략적인 비교와 덧셈 등의 기본적인 조작을 할 수 있는 능력을 말한다. 선행 연구들은 수 민감도를 측정하기 위해 두 개의 점 집합의 수량을 비교하는 과제를 사용하였다. 선행 연구들이 보고한 수 민감도 수치에는 상당한 편차가 존재하는데 이는 수량 비교 과제의 형식의 차이에 기인할 가능성이 크다. 본 연구는 아동의 수 민감도 측정에 더 적절한 수량 비교 과제의 형식에 대해 알아보았다. 선행 연구에서 가장 흔히 사용된 수량 비교 과제는 서로 다른 색깔의 두 점 집합이 서로 섞여서 제시되는 혼재형(intermixed) 형식과 두 점 집합이 나란히 제시되는 병렬형(side-by-side) 형식이었다. 혼재형 수량 비교 과제는 각 색깔 집합의 수량을 추정할 때, 억제 조절 능력, 선택적 주의 및 시공간 작업 기억 등이 추가적으로 요구될 수 있다. 수량 변별 외에 추가적인 인지 처리를 요구하는 과제는 수량 비교 수행의 개인차를 정확하게 측정하지 못할 가능성이 크며(구성 타당도의 저하), 수량 변별 능력이 마땅히 예측할 것으로 기대되는 관련 변인과의 상관관계도 저조할 가능성이 있다(예측 타당도의 저하). 본 연구는 초등학교 학생들을 대상으로 수량 비교 과제의 형식에 따른 수 민감도 측정치의 차이를 관찰하고 수학 성취도와와의 상관관계를 비교하였다. 연구 결과, 혼재 형식 수량 비교 과제를 통한 수 민감도는 병렬 형식에서보다 현저하게 낮았으며, 선행 연구에서 예측한 수 민감도 발달 추이를 고려할 때 지나치게 과소 추정된 값이었다. 나아가 두 가지 제시 형식에 의해 측정된 수 민감도와 수학 성취도와의 상관관계를 비교하였는데, 혼재 형식 수량 비교 과제를 통해 산출된 수 민감도는 수학 성취도와 상관관계를 보이지 않아 예측 타당도 역시 낮다고 판단된다. 결론적으로, 본 연구를 통해 아동을 대상으로 하여 수 민감도 측정 시 혼재 형식보다 병렬 형식 수량 비교 과제를 사용하는 것이 구성 타당도와 예측 타당도가 더 높다고 판단된다.

주제어 : 대략적 수 민감도(수 민감도), 수량 비교 과제, 억제 조절, 수학 성취도

* 이 논문은 2012년 중앙대학교 신입생 성적 우수 장학금과 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2012R1A1A1011872).

†교신저자: 조수현, 중앙대학교 심리학과, (156-756) 서울시 동작구 흑석동 중앙대학교

연구 분야: 수 인지, Tel: 02-820-5816, E-mail: soohyun@cau.ac.kr

대략적 수 민감도(approximate number sense, 이하 수 민감도)란 수량(numerosity)의 대략적인 많고 적음을 순간적으로 추정, 비교 및 조작할 수 있는 능력을 의미한다 [1, 2, 3]. 인간과 동물은 수 민감도라고 불리는 이 기초적인 인지 능력을 타고 난다[4, 5, 6]. 수 민감도는 수렵이나 채집 시 신속하게 다른 동물의 개체나 먹이의 수량 파악 등에 중요한 역할을 하기 때문에 진화되어 왔을 것으로 추정된다[7]. 수 민감도의 발달은 교육이나 문화에 의존하지 않는 것으로 여겨진다. 한 연구에 따르면, 5이상의 숫자를 지칭하는 용어가 존재하지 않는 아마존의 부족민도 수십 개의 점의 개수를 비교하고 더할 수 있을 뿐 아니라, 수 민감도 또한 서구권의 일반 성인과 유사하였다[8]. 여러 연구들을 통해 보고된 바에 따르면, 베버 비율은 신생아 시기에 1:3, 생후 6개월에 1:2, 생후 1년에 2:3 정도까지 빠르게 민감해지며, 성인기에는 9:10까지 구분이 가능하며[6, 9, 10, 11], 30세까지 꾸준히 발달한다[12].

대부분의 선행 연구에서는 수 민감도를 측정하기 위하여 두 개의 점 집합의 수량을 비교하는 과제를 사용하고 있다. 수량 비교 과제에서 두 집합의 수량의 비율이 1에 가까워질수록 수행이 저조해진다. 수량 비교 과제의 수행을 통해 각 개인이 구별 가능한 수량의 차이를 나타내는 베버 비율¹⁾(Weber fraction; w)을 계산함으로써 수 민감도를 측정할 수 있다[13].

선행 연구에서 사용된 수량 비교 과제는 두 개의 점 집합의 제시 방법에 따라 크게 세 가지 방식으로 사용되었다. 첫 번째 방법은 색상이 다른 두 점 집합을 무선적인 위치에 서로 섞어서 제시하는 방법(intermixed format; 혼재 형식)이고[12, 14, 15, 16, 17], 두 번째 방법은 두 점 집합을 나란히 제시하는 방법(side-by-side format; 병렬 형식)이다[18, 19, 20]. 세 번째 방법은 두 점 집합을 짧은 시간 간격을 두고 순차적으로 제시하는 방법(delayed comparison format; 순차 제시 형식)이다[21]. 여러 선행 연구의 결과를 비교하면, 수량 비교 과제의 형식이 베버 비율의 측정치에 영향을 주는 것으로 보인다. 병렬 제시 형식 과제를 사용한 경우, 6세 아동의 평균 베버 비율이 .18로 나타난 반면[11], 혼재 형식 수량 비교 과제를 사용한 경우, 14세 청소년의 평균 베버 비율이 .27이었다[14]. 즉, 14세 청소년들이 6세 아동에 비해 더 높은 베버 비율(민감도가 더 낮음)을 나타내는 모순된 결과는 두 연구에서

1) 베버 비율이란 특정 두 자극의 '다름' 지각할 수 있는 최소한의 차이를 비율로 표현한 값을 말한다. 차이에 대한 민감도가 높은 사람일수록 베버 비율이 작다.

사용된 과제 형식의 차이에 기 인하는 것으로 해석할 수 있을 것이다. Price 외 연구자(2012)들은 타당하고 신뢰로운 수 민감도 측정 방법을 알아보기 위해 성인을 대상으로 하여 과제 형식에 따른 베버 비율을 비교하였다[22]. 그 결과 병렬 형식 과제에서 산출된 베버 비율은 .22(SD=.04)로 혼재 형식 과제에서 산출된 베버 비율인 .38(SD=.13)보다 유의하게 낮았다. 이러한 연구 결과는 성인 피험자들이 병렬 형식과 비교할 때 혼재 형식에서 수량 추정에 더 어려움을 보인다는 것을 의미한다. 이는 혼재 형식에서와 같이 두 점 집합이 뒤섞여서 제시될 경우, 각 집합의 수량을 추정하기 위하여 한 색상의 점들에 선택적으로 주의(selective attention)를 기울이는 동시에 다른 색상의 점들을 무시(ignore) 혹은 억제(inhibit)하는 인지 통제 능력, 주의 전환(switching)과 같은 실행 기능(executive function) 및 시공간 작업 기억[26,27,28] 등의 영역 일반적(domain general)인 인지 기능이 추가적으로 요구되기 때문일 것이다[24-29]. 반면, 병렬 제시 형식에서는 실행 기능 혹은 영역 일반적인 인지 능력에 대한 추가적인 요구가 적기 때문에 보다 순수하게 수 민감도를 측정할 수 있다. 이러한 과제 요구도의 차이가 수 민감도의 차이로 나타날 경우, 병렬 형식에 의한 측정치가 구성 타당도(construct validity)²⁾가 높다고 볼 수 있다[30].

수량 비교 과제에서 두 집합의 비교 시 연속적인 변인(개별 점의 크기, 점들의 총 면적, 점의 밀도 등)의 영향을 통제하는 실험 조건들이 사용된다[11, 12, 14, 16, 18, 19]. 예를 들어, 크기 통제 조건에서는 집합 간에 점들의 평균 크기가 동일하게 맞추어지며, 총 면적 통제 조건에서는 집합 간에 점들이 차지하는 총 면적이 동일하게 통제된다. 크기 통제 조건에서는 두 점 집합의 수량 비율이 1:2라면 점들의 평균 크기가 같기 때문에, ‘총 면적 = 점의 수량 x 점들의 평균 크기’ 라는 공식에 의해 두 집합의 점들이 차지하는 총 면적의 비율도 1:2가 된다. 반면, 총 면적 통제 조건에서는 두 점 집합의 수량 비율이 1:2일 때, 두 점 집합의 총 면적이 같기 때문에 ‘점들의 평균 크기 = 총 면적/점의 수량’ 이라는 공식에 따라, 두 점 집합 간에 점들의 평균 크기의 비율은 2:1이 된다. 성인을 대상으로 한 선행 연구에서 보고된 바에 의하면 피험자들은 점의 크기보다는 점들의 총 면적 정보에 의존하여 과제를 수행한다[24,25,31,32]. 즉, 크기 통제 조건에서는 수량에 비례하는 점

2) 구성 타당도란 측정 자료 혹은 검사 결과 획득한 수치가 원래 측정하고자 한 목표 변인의 조작적 정의에 부합하는 정도를 나타낸다.

들의 총 면적의 차이를 단서로 활용하는 반면, 총 면적 통제 조건에서는 점의 평균 크기가 수량에 반비례한다는 정보를 별로 활용하지 않기 때문에 더 순수하게 수량 정보에 입각한 판단이 이루어진다[24, 25, 31, 32]. 따라서 총 면적 통제 조건에서보다, 점의 총 면적이라는 현저한 지각적 단서를 보조적으로 활용할 수 있는 크기 통제 조건에서 수행이 더 좋은 경향이 있다[24, 25, 31, 32].

Fuhs와 McNeil(2013)은 학령기 전 아동을 대상으로 병렬 제시 수량 비교 과제를 사용하여 크기 통제 조건과 총 면적 통제 조건, 그리고 점들의 총 면적과 수량이 반비례하는 면적-수량 반비례 조건 간의 수행을 비교하였다. 그 결과 크기 통제 조건, 총 면적 통제 조건, 면적-수량 반비례 조건 순으로 수행 정확도가 낮아졌다. 그리고 수행 정확도가 낮은 두 조건에서의 정확도와(Head/Feet, Day/Night 같이 실험자가 지시한 사항과 반대로 행동하는 것을 요구하는) 억제 조절 과제의 정확도 간의 정적 상관관계가 관찰되었다. 즉, 이 연구는 수량 정보를 보조하는 단서가 존재하지 않거나, 방해하는 정보를 무시하기 위한 억제 조절이 많이 요구될 경우 수량 판단이 부정확해지며, 억제 조절 능력이 상대적으로 좋지 않은 아동들에게서 이러한 경향성이 더 강하게 나타난다는 것을 보여준다[25].

본 연구의 실험 1은 초등학교 2~4학년 아동을 대상으로 수량 비교 과제의 형식에 따라 통제 조건 별로 수 민감도 측정치가 어떻게 영향을 받는지를 알아보았다. 초등학생을 연구 대상으로 할 경우, 성인 피험자와 비교할 때 억제 조절 능력 및 영역-일반적인 인지 기능의 개인차가 더 클 것이므로 수량 비교 과제의 인지적 요구도에 따른 수행의 차이가 더 분명하게 드러날 것으로 예상된다. 본 연구는 아동을 대상으로 하여 수량 비교 과제의 형식에 따른 차이를 살펴본 최초의 연구이다. 실험 1에서는 아동과 청소년을 대상으로 한 몇몇 선행 연구들에서 보고된 수 민감도 측정치가 연령에 따른 수 민감도의 예상 발달 추이와 불일치하는 이유가, 과제 형식의 영향 때문일 수 있다는 것을 피험자 내 설계로 보여주고자 한다. 다시 말해, 본 연구는 혼재 형식 수량 비교 과제가 수량 변별 외에 추가적인 인지 능력을 요구함으로써 수 민감도를 과소 추정할 것이라는 가설을 검증하였다. 연구 결과, 이러한 가설이 지지된다면, 혼재 형식보다 병렬 형식에 의한 수량 변별 과제의 수 민감도가 더 구성 타당도가 높다고 결론내릴 수 있다.

실험 2에서는 각 과제 형식을 통해 측정한 수 민감도와 수학 성취도와의 상관

관계를 살펴봄으로써 예측 타당도(predictive validity)³⁾를 비교하였다. 여러 선행 연구들에서 수 민감도는 수학 성취도와 매우 높은 상관관계가 있었다[14, 15, 18, 19]. 학령기 전 아동부터 초등학생, 청소년, 성인에 이르기까지 대략적 수 민감도가 높은 사람이 수학 성취도가 더 높았다[14, 15, 18, 19]. 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계는 지능, 작업 기억, 시공간적 능력 그리고 어휘력 등 일반적인 인지 능력의 영향을 통제한 이후에도 여전히 유의한 것으로 확인되었다[14, 18, 19, 31]. 이는 대략적 수 민감도가 수학 성취도와 어느 정도 독립적인 관계성을 가진다는 것을 의미한다. 또한, 수학 학습 장애(dyscalculia)가 있는 아동들의 수 민감도가 또래의 정상 아동에 비해 유의하게 낮다는 연구 결과 역시 수학 학습 능력과 수 민감도 간의 밀접한 관계를 지지한다[33, 34]. 이와 같은 연구 결과를 고려하여, 실험 2에서는 수량 비교 과제의 형식에 따라 아동의 수 민감도와 그들의 수학 성취도와 상관관계에 차이가 나는지를 확인하여 두 과제 형식에서 산출되는 수 민감도 측정치의 예측 타당도를 비교, 평가하고자 한다[30].

실험 1

본 실험의 목적은 선행 연구에서 사용된 혼재 형식과 병렬 형식의 수량 비교 과제의 수행을 비교하여 아동의 수 민감도 측정에 더 적합한 과제의 형식을 알아보는 것이었다. 본 실험을 통해 수량 변별 외에 추가적인 인지 처리에 대한 요구가 적은 병렬 형식의 수량 비교 과제로부터 측정된 수 민감도가 혼재 형식 과제에서보다 더 높게 나타날 것이라 예상하였다.

3) 예측 타당도란 측정 자료 혹은 검사 결과 획득한 수치가 연관된 다른 검사 결과 혹은 측정치를 예측할 수 있는 정도를 나타낸다.

방 법

참가자

서울 영창동, 암사동, 경기도 동탄, 안양, 안산, 충청북도 당진에 거주하는 초등학교 2학년, 3학년, 4학년에 재학 중인 총 77명(남아 37명, 여아 41명)이 연구에 참여하였다. 피험자들의 평균 나이는 만 7.9세(표준편차 1.0)이었다. 이 중 2학년 학생 2명, 4학년 학생 1명이 실험 과제를 정상적으로 완수하지 못하여 분석에서 제외되었다. 모든 참가자들과 보호자들의 동의 아래 실험이 진행되었으며 실험 종료 후 소정의 사례비가 지급되었다.

실험 자극과 절차

실험 1에서는 두 가지 수 민감도 측정 과제가 사용되었다. 두 과제의 제시 순서는 역균형화(counterbalanced) 되었다. 본 과제는 1366 x 768 해상도의 노트북으로 수행되었으며, 참가자는 스크린과 시야를 약 50cm 정도로 유지하며 과제를 수행하였다.

혼재 형식 수량 비교 과제

혼재 형식 수량 비교 과제에서는 흰 점과 검은 점들이 동시에 무선적인 위치에 섞여 제시되었다(그림 1). 피험자의 과제는 수량이 더 많은 집합의 색상을 보고하는 것이었다. 각 점 집합의 점들의 수량은 5개에서 18개였으며, 제시되는 모든 점의 합은 최대 34개까지 제시되었다. 과제의 난이도는 흰 점 집합과 검은 점 집합의 수량의 비율로써 조절되었고, 총 6개의 난이도(1:2, 3:4, 5:6, 6:7, 7:8, 8:9)가 사용되었다(표 1). 점들은 회색으로 된 900 x 600 픽셀(pixel) 크기의 직사각형 안에 무선적으로 위치하였다. 각 집합의 점들은 일정한 면적 내에서 무선적으로 제시되었기 때문에 점들의 밀도는 두 집합 간에 동일하게 통제되었다[14]. 모든 점 자극은 MATLAB 소프트웨어로 제작되었으며, 제작된 자극들은 E-prime 소프트웨어를 통해 제시되었다. 또한, 회색 바탕, 흰 점, 검은 점의 색상은 RGB 기준표에서 각각의 표

준 색상을 사용하였다.

본 실험은 피드백이 제시되는 6번의 연습 시행 후에 시작하였다. 피드백은 정답 여부가 화면에 나타나는 방식으로 제시되었다. 비록 피드백이 'correct' 또는 'incorrect'로 제시되었으나 정답일 경우 파란색 글씨로, 오답일 경우 빨간색 글씨로 제시되었으며 실험자가 피드백이 제시될 때마다 아동에게 정답 여부를 말해주었다. 과제는 다음과 같이 진행되었다. 먼저 1000ms 동안 응시점이 제시된 후 점 자극이 1000ms 동안 나타난 뒤 사라졌으며 피험자의 반응을 요구하는 화면이 10초 동안 나타났다. 실험자는 피험자들에게 흰 점 집합의 점의 개수가 더 많았다면 3번을 누르고, 검은 점 집합의 점의 개수가 더 많았다면 8번을, 그리고 둘 중 어느 집합이 더 많은지 판단하지 못할 경우 0번을 누르도록 지시하였다. 0번을 누른 경우는 오답으로 처리하였다. 본 시행에서는 피드백이 제시되지 않았고, 24번의 시행마다 쉬는 시간이 주어졌다.

실험 1에서는 Halberda 외 연구자들(2008)과 같이 두 집합 간에 점들이 차지하는 총 면적이 동일하도록 통제된 조건(총 면적 통제 조건, area controlled condition)과, 점들의 평균 크기가 동일하도록 통제된 조건(크기 통제 조건, size controlled condition)이 사용되었다(그림 1, [14]). 총 면적 통제 조건에서 한 집합 내에서의 점의 크기는 총 면적을 점의 개수로 나눈 평균 크기를 중심으로 하여 최소 80%에서 120% 사이의 범위 내에서 조절되었다. 예를 들어, 한 집합의 점의 개수가 5개로 가장 적은 경우의 자극일 경우 평균적으로 지름이 65 픽셀(pixel)에 해당하는 점 크기가 제시되었다. 한 집합의 점의 개수가 18개로 가장 많은 경우에는 평균적으로 지름이 35 픽셀에 해당하는 점이 제시되었다. 크기 통제 조건에서는 평균 점의 크기가 지름 21 픽셀이었으며, 점 크기의 범위는 평균을 기준으로 80%에서 120% 사이의 범위 내에서 조절되었다. 총 시행 수는 통제 조건 당 60 시행 씩, 총 120 시행으로 구성되었으며, 한 통제 조건 당 6개의 수량 비율(난이도) 별로 10 시행 씩 실시되었다. 이때, 통제 조건과 난이도 모두 무선적인 순서로 제시되었다. 또한, 흰 점의 개수가 많은 경우, 검은 점의 개수가 많은 시행이 각각 60번으로 역균형화 되었다(표 1).

표 1. 혼재 형식 수량 비교 과제의 조건과 조건 별 시행 수

제시 비율	1:2		3:4		5:6		6:7		7:8		8:9	
통제 조건	면적	크기	면적	크기	면적	크기	면적	크기	면적	크기	면적	크기
시행 수	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
흰 점: 검은 점	10:5		8:6		6:5		7:6		8:7		9:8	
	12:6		12:9		12:10		14:12		16:14		18:16	
	14:7		16:12									
	16:8											
개수 간 비율	5:10		6:8		5:6		6:7		7:8		8:9	
	6:12		9:12		10:12		12:14		14:16		16:18	
	7:14		12:16									
	8:16											

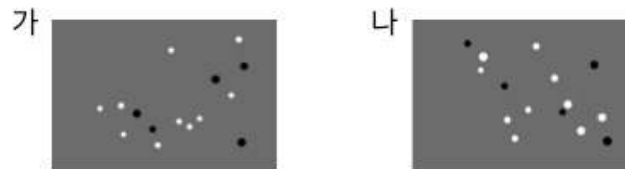


그림 1. 혼재 형식 수량 비교 과제의 통제 조건 별 자극 예시.
(가)면적 통제 조건. (나)크기 통제 조건.

병렬 형식 수량 비교 과제

병렬 형식 수량 비교 과제에서는 화면의 응시점을 중심으로 왼편과 오른편에 검은색 점 집합 자극이 나란히 제시되었다(그림 2). 두 점 집합의 각 중심 점 간의 거리는 약 355 픽셀이었고 집합 간의 최소 거리는 약 65 픽셀(pixel)이었다. 피험자의 과제는 왼편과 오른편에 제시된 점 집합 중 어느 쪽의 점의 개수가 더 많은지 결정하는 것이었다. 각 점 집합의 수량은 6개부터 49개였다. 과제의 난이도는 두 점 집합의 점들의 수량에 대한 비율로 조절되었고, 혼재 형식 과제에서와 같이 총 6개의 난이도(1:2, 3:4, 5:6, 6:7, 7:8, 8:9)로 조절되었다(표 2). 각 점 집합은 217 x 290 픽셀의 가상의 직사각형 테두리 안에서 무선적으로 배치되었다. 혼재 형식 과

표 2. 병렬 형식 수량 비교 과제의 조건과 조건 별 시행 수

제시 비율	1:2		3:4		5:6		6:7		7:8		8:9	
통제 조건	면적	크기	면적	크기	면적	크기	면적	크기	면적	크기	면적	크기
시행 수	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
왼쪽 : 오른쪽 점 집합의 개수 간 비율 예시 (왼쪽 > 오른쪽 경우)		12:6		12:9								
		16:8		16:12								
		20:10		20:15		12:10		7:6		8:7		
		24:12		24:18		18:15		14:12		16:14		9:8
		28:14		28:21		24:20		21:18		24:21		18:16
		32:16		32:24		30:25		28:24		32:28		27:24
		36:18		36:27		36:30		35:30		40:35		36:32
		40:20		40:30		42:35		42:36		48:42		45:40
		44:22		44:33		48:40		49:42				
		48:24		38:36								

제와 마찬가지로 각 집합의 점들은 일정한 면적 내에서 무선적으로 제시되었기 때문에 점들의 밀도는 집합 간에 동일하게 통제되었다[14]. 모든 점 자극은 MATLAB 소프트웨어로 제작되었으며, 제작된 자극들은 E-Prime 소프트웨어를 통해 제시되었다. 병렬 형식 수량 비교 과제에서도 마찬가지로 각 집합의 점들의 총 면적과 점들의 평균 크기가 수행에 영향을 미칠 수 있기 때문에 실험 1에서와 동일하게 집합 간의 총 면적을 동일하게 통제한 조건(총 면적 통제 조건)과 점의 평균 크기를 동일하게 통제한 조건(평균 크기 통제 조건)이 사용되었다(그림 2). 병렬 형식에서의 총 면적 통제 조건과 크기 통제 조건에서의 점의 크기 등 세부 사항은 혼재 형

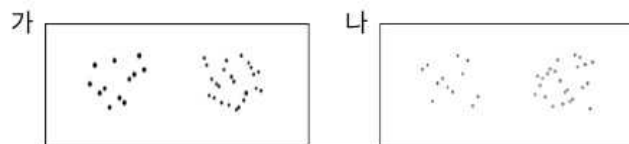


그림 2. 병렬 형식 수량 비교 과제의 통제 조건 별 자극 예시.
(가) 면적 통제 조건. (나) 크기 통제 조건.

식에서와 동일한 방법으로 조절되었다.

본 실험은 화면에 피드백이 제시되는 5번의 연습 시행 후에 시작하였다. 피드백은 영어('correct' 또는 'incorrect')로 제시되었으나, 정답일 경우 파란색 글씨로, 오답일 경우 빨간색 글씨로 정답 여부가 제시되었고 실험자가 피드백이 제시될 때마다 아동에게 화면에 나타난 정답 여부를 말해주었다. 과제의 절차는 다음과 같았다. 먼저 1000ms 동안 응시점이 제시된 후 점 자극이 1000ms 동안 나타난 뒤 사라지며 선택을 요구하는 화면이 10초 동안 나타났다. 피험자는 왼편의 집합의 점의 개수가 더 많았다면 3번을 누르고, 오른편의 집합의 점의 개수가 더 많았다면 8번을, 그리고 둘 중 어느 집합이 더 많은지 결정을 하지 못할 경우 0번을 누르도록 지시 받았다. 0번으로 반응한 경우에는 오답으로 처리되었다. 본 시행에서는 피드백이 제시되지 않았고, 24번의 시행마다 쉬는 시간이 주어졌다. 즉, 본 과제는 두 가지 통제 조건 당 60 시행 씩, 총 120 시행으로 구성되었으며, 한 통제 조건 안에 6개의 비율의 난이도가 10개 씩 제시되었다. 두 가지 통제 조건과 난이도 모두 무선적인 순서로 제시되었다. 또한, 화면 왼쪽 집합의 점의 수량이 많은 경우와 오른쪽 집합의 수량이 많은 시행은 각각 60 번으로 역균형화 되었다(표 1).

결 과

본 실험의 결과 분석에서는 먼저, 각 수량 비교 과제의 비율 별 정확도를 이용하여 대략적 수 민감도의 지표인 베버 비율 산출하였다. 베버 비율 산출 방식은 Pica 외 연구자(2004)의 방식을 사용하였다(수식 1, [8, 13]). 수식 1을 통해 추정된 베버 비율은 비교되는 두 수량 n_1 과 n_2 을 75%의 정확도로 구별할 수 있는 수량 간 비율을 의미한다. 이 값은 각 피험자의 수량 변별에 대한 민감도를 나타낸다. 베버 비율이 낮을수록 수량 변별의 민감도가 높음을 의미한다[13]. 단, 베버 비율은 피험자의 각 비율 별 평균 정확도의 패턴에 따라 달라진다. 예를 들어, 한 피험자의 두 수량 비교 과제의 평균 정확도가 .75로 같다고 하더라도 제시된 6개의 비율 별 정확도의 패턴이 다를 경우 베버 비율이 .23 또는 .21로 각기 다르게 산출될 수 있다.

$$\text{수행 정확도} = 1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{n_1 - n_2}{\sqrt{2} w \sqrt{n_1^2 + n_2^2}}\right)$$

수식 1. 베버 비율 산출에 사용된 수행 정확도 모형

결과 분석에 앞서 지나치게 낮은 수행으로 인해 산출된 베버 비율이 1 이상인 피험자는 분석에서 제외되었다. 또한, 집단의 평균으로부터 3표준편차를 벗어나는 베버 비율을 보인 피험자도 분석에서 제외되었다. 평균 베버 비율 또는 각 통제 조건에서의 베버 비율이 하나라도 제외된 피험자 총 8명은 모든 분석에서 제외되었다.

표 3. 혼재 형식 과제와 병렬 형식 과제의 수행

		혼재 형식 과제		병렬 형식 과제	
		평균	표준편차	평균	표준편차
전체	평균 정확도	.69	.05	.77	.05
	베버 비율	.34	.11	.20	.06
면적 통제	평균 정확도	.68	.06	.73	.07
	베버 비율	.37	.14	.25	.10
크기 통제	평균 정확도	.70	.07	.80	.06
	베버 비율	.32	.14	.17	.07

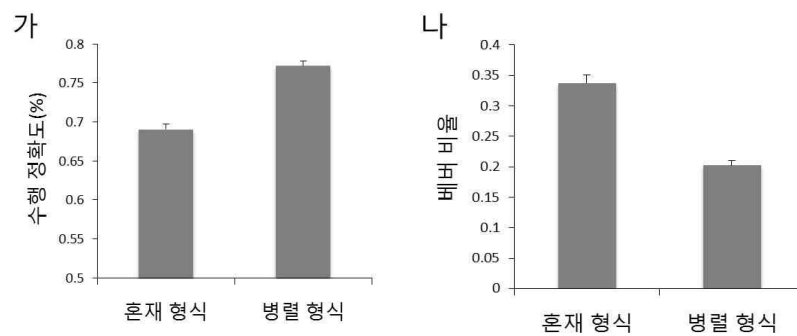


그림 3. 과제 형식에 따른 수행 결과. (가) 수행 정확도. (나) 베버 비율.

정확도에 대한 과제 형식(혼재 대 병렬)과 통제 조건(총 면적 대 크기)의 효과를 알아보기 위해 2 x 2 반복 측정 분산 분석을 실시한 결과 과제 형식의 주효과($F(1, 65) = 87.01, p < .001, \eta^2 = .57$, 그림 3-가)와 통제 조건의 주효과가 모두 유의하였다($F(1, 65) = 48.56, p < .001, \eta^2 = .43$). 또한, 병렬 형식에서 통제 조건 간의 차이가 더 크게 나타나는 패턴으로 두 요인 간의 상호작용 효과가 유의하였다($F(1, 65) = 7.33, p < .01, \eta^2 = .10$, 그림 4-가). 동일한 방식으로, 베버 비율에 대한 과제 형식(혼재 대 병렬)과 통제 조건(총 면적 대 크기)의 효과를 2 x 2 반복 측정 분산 분석을 실시한 결과, 과제 형식의 주효과($F(1, 65) = 75.71, p < .001, \eta^2 = .54$, 그림 3-나)와 통제 조건의 주효과는 있었으나($F(1, 65) = 33.98, p < .001, \eta^2 = .34$), 두 요인 간의 상호작용은 유의하지 않았다($F(1, 65) = 2.15, p = .15, \eta^2 = .03$, 그림 4-나).

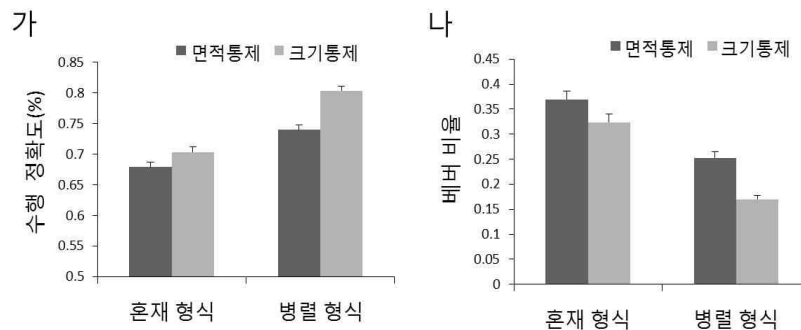


그림 4. 과제 형식과 통제 조건 별 수행. (가) 평균 정확도. (나) 베버 비율.

본 실험은 초등학교 2~4학년 아동을 대상으로 하였기 때문에 월령 차이에 따른 아동의 수행 변화를 고려할 필요가 있다. 따라서 아동의 월령과 수 민감도 간의 상관관계를 살펴 본 결과, 혼재 형식 과제의 베버 비율과 아동의 월령은 유의한 상관관계를 보이지 않았으나($r(66) = .11, p = .39$), 병렬 형식 과제의 베버 비율과 아동의 월령은 상관관계의 경향성이 나타났다(marginally significant; $r(66) = -.23, p < .07$).

두 과제 형식에 의해 측정된 수량 변별 수행 간의 상관관계를 살펴보기 위해 월령을 통제 한 편 상관분석을 수행한 결과, 혼재 형식과 병렬 형식 과제의 수행

정확도 간에는 유의한 상관관계가 없었고 ($r(63) = .10, p = .43$), 베버 비율 간에도 유의한 상관관계가 없었다($r(63) = .11, p = .39$). 각 과제 형식 내에서 두 통제 조건에서 측정된 베버 비율 간 상관관계는 혼재 형식($r(63) = .29, p < .02$)과 병렬 형식($r(63) = .30, p < .02$)에서 모두 유의하였다. 정확도에 대하여 동일한 분석을 실시한 결과 혼재 형식에서는 상관관계의 경향성이 있었고($r(63) = .23, p = .07$), 병렬 형식 과제에서는 상관관계가 유의하였다($r(63) = .28, p = .02$).

논 의

과제 형식과 통제 조건 간 2원 반복 측정 분산 분석 결과, 과제 형식의 주효과가 있었다. 즉, 초등학교 저학년 아동들은 병렬 형식에서보다 혼재 형식의 수량 비교 과제에서 저조한 수행을 보였다. 병렬 형식 과제를 사용한 경우 아동의 베버 비율은 평균 5:6 정도로 여러 선행 연구들에서 발표된 연령 별 수 민감도 측정치의 범위 및 예상되는 발달 추이와 잘 부합하는 반면 혼재 형식을 사용한 경우 평균 3:4 정도의 베버 비율이 관찰되었다. 혼재 형식 수량 비교 과제에서 추정된 3:4의 베버 비율은, 선행 연구에서 수량 변화 탐지 과제를 통해 알아본 9~12개월 영아의 베버 비율[10] 또는 병렬 제시 형식 수량 비교 과제를 사용하여 측정한 4세 아동의 베버 비율[11]과 유사한 수치이다. 즉, 혼재 형식 수량 비교 과제를 사용하여 측정된 아동의 수 민감도는 병렬 형식에서보다 매우 과소 추정되었다고 볼 수 있다. 이 값은 수 민감도 외에 추가적인 인지 능력의 개인차를 반영한 수치일 것으로 생각된다. 즉, 혼재 형식 수량 비교 과제에서는 각 집합의 수량을 추정하기 위하여 한 색상의 점들에 선택적으로 주의를 기울이는 동시에 다른 색상의 점에 대한 정보 처리를 억제하는 능력, 색상에 기반한 주의 전환과 같은 실행 기능 및 시공간 작업 기억[26, 27, 28] 등의 영역 일반적인 인지 기능을 추가적으로 요구할 것으로 기대된다. 본 연구의 결과는 성인을 대상으로 한 연구에서 혼재 형식과 병렬 형식에 대한 수행 차이를 보고한 결과와 일치하며[22], 본 실험에서 관찰한 아동들은 억제 조절 능력 등 일반 인지 기능이 미성숙한 시기에 해당하기 때문에 과제 형식에 따른 차이가 더 분명하게 드러났다고 볼 수 있다[25]. 반면, 병렬 제시

형식에서는 억제 조절, 실행 기능 혹은 영역 일반적인 인지 능력에 대한 추가적인 요구가 적기 때문에 보다 순수하게 수 민감도를 측정할 수 있을 것으로 기대된다. 실험 1의 결과, 혼재 형식의 추가적인 인지 기능에 대한 요구가 수 민감도 측정치를 저하시키는 것으로 확인되어, 병렬 형식에 의한 수 민감도 측정치가 구성 타당도가 높다고 판단할 수 있다[30].

또한, 반복 측정 분산 분석의 결과 통제 조건의 주효과와 과제 형식과 통제 조건 간의 2원 상호 작용 효과가 있었다. 즉, 통제 조건의 주효과에서는, 총 면적 통제 조건에서보다 크기 통제 조건에서 수행 수준이 높았다. 2원 상호 작용 효과의 패턴에 대한 설명은 다음과 같다. 병렬 형식에서는 총 면적 통제 조건에서보다 크기 통제 조건에서 수행 수준이 현저하게 높았던 반면, 혼재 형식에서는 통제 조건 간의 차이가 상대적으로 작았다. 집합 간 점들의 평균 크기를 동일하게 맞춘 크기 통제 조건에서는 한 집합 내의 점들의 총 면적과 수량이 정비례하기 때문에 총 면적이 수량을 대신하는 현저한 지각적 단서로 작용할 수 있다. 반면, 총 면적 통제 조건은 집합 간에 점들의 총 면적을 동일하게 통제하여 총 면적 단서를 사용할 수 없는 조건이었다. 크기 통제 조건에서는 총 면적 단서를 활용하여 수량의 많고 적음에 대한 결정이 가능하기 때문에 총 면적 통제 조건에서보다 수행이 더 정확해질 수 있다. 다시 말해, 통제 조건 간의 이러한 수행 차이는 총 면적 단서의 가용성(availability) 차이에 의한 것이라 해석할 수 있다. 그런데, 혼재 형식의 수량 비교 과제를 수행하는 경우, 추가적인 인지 능력에 대한 요구가 증가함과 동시에 서로 다른 색깔의 점들이 무선적으로 뒤섞이기 때문에 집합 간의 총 면적 차이 정보의 현저성(saliency)이 감소하여 통제 조건 간의 차이가 감소한 것으로 해석할 수 있다.

또한 아동의 월령에 따른 수 민감도의 변화를 알아본 결과, 혼재 형식 과제로 측정된 수 민감도는 월령과 상관이 없었으나, 병렬 형식 과제로 측정된 수 민감도는 월령과 상관관계의 경향성(월령이 높은 아동일수록 수 민감도가 더 좋았음)을 보였다. 이는 병렬 형식 과제로 측정된 수 민감도만이 선행 연구에서 보고한 바와 같이 연령의 증가에 따라 수 민감도가 좋아지는 패턴을 확인시켜준다는 것을 의미한다[6, 9, 11, 12]. 한편, 본 연구의 주 목적은 연령의 효과를 보기 위한 것이 아니었기 때문에 두 과제 형식의 수행에 대하여 월령을 통제 후 상관관계를 살펴 본 결과, 각 과제 형식 간의 수량 변별 정확도는 서로 상관관계가 없었으나, 각

과제 형식 내에서는 통제 조건 간의 정확도가 서로 상관관계가 있었다. 이는 혼재 형식 과제 수행을 통해 측정된 개인차와 병렬 형식 과제의 수행을 통해 측정된 개인차가 질적으로 다름을 의미한다.

본 실험에서 혼재 형식과 병렬 형식에서 점의 최대 수량이 각기 34개와 49개로 동일하지 않았다. 그러나 병렬 제시 형식에서 최대 수량이 30인 경우와 최대 49인 경우의 배비 비율 간의 대응 표본 t 검증을 한 결과 유의한 차이가 발견되지 않았다($p > .12$). 따라서 두 과제 간의 점의 최대 수량의 차이가 과제 형식 간의 수행 차이에 영향 미치지 않았다고 할 수 있다. 나아가 아동이 수량 비교를 함에 있어서 점의 최대 수량의 범위에 의해 수 민감도의 추정치가 영향을 받지 않는 것으로 해석할 수 있다.

실험 1의 결과를 종합하면, 아동의 수 민감도를 측정할 때 혼재 형식보다 병렬 형식 수량 민감도 과제를 사용하면 보다 순수하게 수량 변별 능력을 측정할 수 있어 구성 타당도가 높아진다고 할 수 있다.

실험 2에서는 혼재 형식과 병렬 형식 과제를 통해 측정된 수 민감도와 수학 성취도와 상관계수를 비교하여 두 과제 형식으로 측정된 수 민감도의 예측 타당도를 비교하고자 한다.

실험 2

여러 선행 연구들에서 보고된 바에 의하면 수 민감도는 수학 성취도와 종단적인 상관관계를 보인다[14, 15, 18, 19]. 아동기부터 성인기에 이르기까지 수 민감도가 민감한 개인이 수학 성취도가 더 높으며 수학 학습 장애가 있는 아동들의 수 민감도가 또래의 정상 아동에 비해 유의하게 낮다. 이러한 연구 결과들은 수량의 많고 적음에 대한 민감도가 수학 성취도의 발달의 근간을 이룬다는 가설을 지지한다[36, 37]. 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계는 지능, 작업 기억, 시공간적 능력 그리고 어휘력 등 일반적인 인지 능력의 영향을 통제한 이후에도 여전히 유의한 것으로 확인되어 수학 학습 능력에 대한 수 민감도의 기여가 독립적이라는

점을 시사한다[14, 18, 19, 31].

이와 같은 연구 결과를 고려하여, 실험 2에서는 수량 비교 과제의 형식에 따라 아동의 수 민감도와 수학 성취도와와의 상관관계에 차이가 나는지를 확인하여 두 과제 형식에서 산출되는 수 민감도 측정치의 예측 타당도를 비교, 평가하였다[30]. 실험 2에서는 실험 1에 참가하였던 초등학교 2학년 아동만을 대상으로 하여 그들의 수학 성취도와 수 민감도 간의 상관관계를 분석하였다. 이를 통해 수 민감도와 수학 성취도 간의 관계성을 살펴볼 때 피험자 간에 연령이나 교육 연수의 차이를 배제할 수 있었다. 본 연구에 사용된 수학 성취도 검사는 학년을 보정한 표준 점수를 사용할 경우, 한 소 검사(수 개념, 도형, 연산, 문제 해결) 당 0-20점(총 80점)으로 제한되어 변별력이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 피험자를 동일 학년으로 통제하여 개인차를 더 잘 변별할 수 있는 원점수를 그대로 사용하였다. 원점수의 범위는 총 0-182점으로 각 소검사의 최대 점수는 수 개념 43점, 도형 24점, 연산 94점, 그리고 문제 해결 21점으로 개인차를 더 잘 변별 할 수 있다. 또한, 수학 성취도와 대략적 수 민감도 간의 독립적인 관계성을 재확인하기 위해 수학 성취도와 밀접한 관련이 있다고 알려진 유동 지능과 원령을 통제한 분석도 실시하였다.

방 법

참가자

실험 1에 참가하였던 2학년 학생 중 총 64명(남아 28명)이 실험에 참여하였다. 피험자들의 평균 나이는 만 7.5세(표준편차 .50)이었다. 이 중 수 민감도 검사를 다 마치지 못한 학생 한 명의 자료는 분석에서 제외되었다. 실험은 모든 참가자들과 보호자들의 서면 동의 후에 진행되었다. 실험을 마친 후 참가자들에게는 소정의 사례비와 수학 성취도 평가 결과지가 지급되었다.

실험 자극과 절차

수량 비교 과제

실험 1에서와 동일한 혼재 형식과 병렬 형식 수량 비교 과제가 사용되었다.

수학 성취도 검사

아동의 수학 성취도를 측정하기 위하여 국립 특수 교육원에서 제작한 기초 학력 검사 도구 KNISE-BAAT의 수학 영역 검사(수 개념, 도형, 연산, 문제 해결)가 사용되었다. 본 검사의 기준은 학년을 기준으로 하여 제작되었다. 수 개념 검사에는 숫자 읽기, 숫자 규칙 찾기 등의 문제가 포함되었고, 도형에는 평행, 같은 크기의 각도 찾기 등의 문제가 포함되었다. 연산 검사에는 암산과 지필을 이용한 사칙 연산 문제가 포함되었고, 문제 해결 검사에는 다소 긴 문제를 읽고 문제 풀이 방법을 추리하는 등의 활용 문제가 포함되었다. 본 실험은 동일한 학년의 아동을 대상으로 하였기 때문에 수학 성취도의 개인차를 더 잘 관찰할 수 있는 원점수를 그대로 사용하였다. 모든 검사는 아동과 실험자가 일 대 일로 검사 도구를 사이에 두고 마주 앉아 실시되었다. 검사 책자 한 페이지 당 한 문제가 제시되었으며, 실험자는 피험자에게 검사 도구에 적힌 설명문과 질문을 그대로 읽어 질문하였다. 피험자가 질문에 답하면 실험자는 그 즉시 반응의 정답 또는 오답 여부를 기록하였다. 연산 영역에는 실험자가 직접 물어보는 구술 방식의 문제와 지필 사칙연산 문제가 포함되었다. 검사 동안에 아동에게는 정답/오답에 대한 피드백은 제공되지 않았다. 검사의 소요 시간은 40분에서 1시간 정도였다.

유동 지능 검사

아동의 유동 지능을 측정하기 위해 아동용 레이븐 지능 검사(Raven's Standard Progressive Matrices)를 실시하였다. 본 검사는 총 60문항으로써 한 단계에 12 문항씩 낮은 난이도(A단계)부터 높은 난이도(E 단계)까지 5단계의 난이도로 구성되어 있다. 검사 점수는 한 문항 당 1점으로 채점한 원점수를 그대로 사용하였다.

결 과

혼재 형식의 수량 비교 과제의 정확도에 대한 일변량 분산 분석 결과, 수량 간 비율의 주효과가 유의하였다($F(5, 354) = 66.33, p < .001, \eta^2 = .48$). Tukey's HSD 사후 검증 결과 수량 간 비율이 1에 가까워질수록 정확도가 점차 낮아졌는데(그림 5), 1:2부터 8:9까지의 구간 사이에서 정확도 차이는 1:2 대 3:4 구간, 3:4 대 5:6 구간에서 유의하였고($p < .001$), 5:6과 6:7 구간, 6:7과 7:8 구간, 7:8과 8:9 구간에서는 유의하지 않았다($p > .40$). 마찬가지로 방법으로, 병렬 형식의 수량 비교 과제의 정확도에 대한 일변량 분산 분석 결과, 수량 간 비율의 주효과가 유의하였다($F(5, 366) = 105.06, p < .001, \eta^2 = .59$). Tukey's HSD 사후 검증 결과 수량 간 비율이 1에 가까워질수록 정확도가 점차 낮아졌는데, 1:2부터 8:9까지 각 비율 간의 수행 정확도는 5:6과 6:7 구간($p = .95$)과 7:8과 8:9 구간($p = .20$)을 제외한 모든 구간에서 유의한 차이를 보였다($p < .02$, 그림 5-가). 피험자들의 비율 별 평균 정확도를 이용한 수행 정확도 모형을 구한 결과 병렬 형식에 비해 혼재 형식에서 저조한 수행을 보였다(그림 5-나). 실험 1에서와 같이 비율 별 정확도를 이용하여 개인 별 배버 비율을 산출하였는데 이때 지나치게 낮은 수행을 보인 피험자들의 자료는 집단 평균으로부터 3표준편차를 기준으로 분석에서 제외하였다. 제외된 피험자들의 수는 혼재 형식 과제 자료에서 5명, 병렬 형식 과제 자료에서 1명이었다.

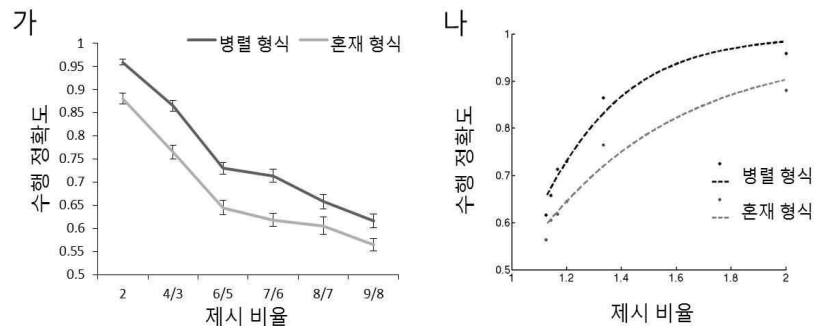


그림 5. 과제 형식에 따른 피험자들의 수행 정확도와 모델 적합도. (가) 비율 별 수행 정확도. (나) 비율 별 평균 정확도로 추정된 과제 형식 별 수행 정확도 모형(점선)

실험 2에서 베버 비율에 대한 과제 형식과 통제 조건 간의 2원 분산 분석 결과, 과제 형식($F(1, 52) = 47.44, p < .001, \eta^2 = .48$)과 통제 조건($F(1, 52) = 24.61, p < .001, \eta^2 = .32$)의 주효과는 유의하였으나, 2원 상호작용은 유의하지 않았다($F(1, 52) = 2.06, p = .16, \eta^2 = .04$). 과제 형식 별 평균 베버 비율을 구하기 위해 두 통제 조건의 비율 별 정확도를 평균한 수치를 산출하였다. 평균 베버 비율은 혼재 형식 과제에서는 .33(표준편차 .11)이었고, 병렬 형식의 과제에서는 .22(표준편차 .08)이었다. 병렬 형식 과제에서의 베버 비율을 고려할 때, 피험자들은 평균적으로 약 5:6 정도의 수량 비율을 안정적으로 구별할 수 있었다(5:6의 수량이 구분 가능할 때 베버 비율은 $(6-5)/5 = .20$). 피험자들의 수학 성취도 검사의 소 검사 별 평균 점수는 표 4에 제시하였다.

표 4. 피험자의 수학 성취도의 평균과 표준편차

검사 종류	평균	표준편차
수	18.92	3.63
연산	33.11	8.55
도형	11.73	3.31
문제 해결	6.41	2.67
수학 성취도 평균	17.54	3.83
유동 지능 검사	36.13	7.03

대략적 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계를 조사하기 위하여 두 과제 형식의 평균 정확도 및 베버 비율과 수학 성취도 검사(수, 도형, 연산, 문제 해결)의 통합적 평균 점수 간의 상관관계를 각기 분석하였다. 분석 결과, 병렬 형식 수량 비교 과제의 베버 비율과 수학 성취도 간에는 유의한 상관관계가 있었다($r(61) = -.38, p = .003$, 그림 6). 나아가, 유동 지능 점수를 통제한 편 상관 분석에서도 병렬 제시 과제에서의 베버 비율과 수학 성취도 평균 점수 간의 상관관계가 유의하였다($r(55) = -.33, p = .01$). 소 검사 별로 정리하면, 병렬 형식 과제에서의 베버 비율은 수학 성취도 검사의 수($r(61) = -.35, p < .01$), 연산($r(61) = -.27, p = .03$), 도형

($r(61) = -.37, p < .01$), 그리고 문제 해결($r(61) = -.35, p < .01$) 영역 점수와 모두 유의한 상관관계를 보였다. 반면, 혼재 형식 수량 비교 과제로부터 산출된 베버 비율 (평균 .33, 표준편차 .11)과 수학 성취도 간의 상관관계는 유의하지 않았다($r(55) = -.07, p = .60$). 또한 유동 지능 점수는 혼재 형식, 병렬 형식 과제의 베버 비율과 모두 상관관계를 보이지 않았다($p > .1$).

아동의 월령과 병렬 형식 과제의 베버 비율 간에는 유의한 상관관계가 있었다($r(61) = -.35, p < .01$). 이러한 관계성을 고려하여 아동의 월령을 통제하여 수학 성취도와 병렬 형식 과제의 베버 비율 간에 편 상관분석을 실시한 결과 여전히 유의하였다($r(58) = -.39, p < .01$). 그리고 월령과 유동지능 점수를 함께 통제한 편 상관분석에서도 병렬형식 과제의 베버 비율과 아동의 수학 성취도 간의 관계성은 유의하였다($r(54) = -.31, p < .02$). 그러나 아동의 월령과 수학 성취도 간에는 유의한 상관관계 발견되지 않았으며($r(61) = .19, p = .15$), 아동의 월령과 혼재 형식 과제의 베버 비율과도 유의한 상관관계가 없었다($r(55) = -.17, p = .23$).

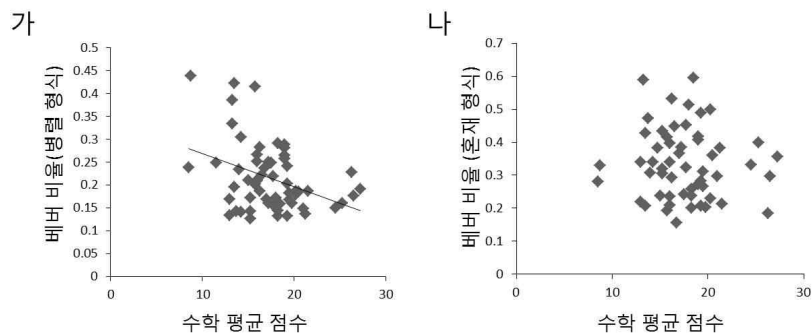


그림 6. 수 감각 베버 비율과 수학 성취도 간의 상관관계. (가)병렬 형식 $r(61) = -.38, p = .003$. (나) 혼재 형식 $r(55) = -.07, p = .60$

논 의

실험 2에서는 혼재 형식과 병렬 형식 수량 비교 과제를 이용하여 초등학교 2학

년 학생들의 대략적 수 민감도를 측정하고 수학 성취도와와의 상관관계를 비교하였다. 수 민감도 측정 결과, 두 과제 모두에서 피험자들의 비율 별 평균 정확도는 수량 간 비율이 1에 가까울수록 낮아졌다. 실험 1에서와 마찬가지로 혼재 형식에서 측정된 베버 비율이 약 3:4로 병렬 형식의 수량 비교 과제에서 측정된 베버비율보다 더 높았으며(민감도가 더 낮음) 이는 선행 연구에서 4~5세 아동의 수 민감도와 유사한 값으로서 매우 과소 추정된 수치라 볼 수 있다[10, 11].

수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계 분석에서는 병렬 형식의 수량 비교 과제를 통해 산출된 베버 비율만이 수학 성취도와 유의한 상관관계를 보였으며, 이 두 변인은 유동 지능의 영향을 통제한 편 상관 분석에서도 유의한 상관관계를 나타냈다. 이러한 결과는 성인 혹은 유아들을 대상으로 한 선행 연구에서 수 민감도가 민감할수록 수학 성취도가 높았던 연구 결과[14, 15, 18, 19] 및 기타 인지 능력(예를 들어, 지능, 작업 기억, 단어 용량 등)을 통제한 후에도 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계를 보고한 선행 연구 결과들과 일치한다[14, 18, 19, 31]. 반면에, 혼재 형식의 수량 비교 과제를 통해 산출된 수 민감도(베버 비율)는 수학 성취도와 전혀 상관관계를 보이지 않았다. 이는, 여러 선행 연구를 통해 보고된 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계가, 병렬 형식의 수량 비교 과제를 사용하여 베버 비율을 산출했을 때에만 나타남을 확인시켜주는 결과이다.

월령의 영향을 분석한 결과, 월령에 따른 수학 성취도의 변화는 없었으나, 월령이 높을수록 병렬 형식 과제에서 수 민감도가 좋아짐을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 두 형식의 과제 중 병렬 형식 과제에 한하여 나타났기 때문에, 병렬 형식 과제가 혼재 형식에 비해 수 민감도의 월령에 따른 개인차를 더 민감하게 측정한다는 것을 확인시켜준다. 한편, 월령 혹은, 월령과 유동지능을 동시에 통제하여도 수학 성취도와 병렬 형식 과제를 통해 측정된 수 민감도 간의 상관관계는 여전히 유의하였다.

정리하면, 실험 2의 결과를 통해 병렬 형식 과제로부터 초등학교 2학년 학생들의 월령에 따라 수 민감도가 민감해짐을 확인할 수 있었을 뿐만 아니라, 월령의 영향을 통제한 후에도 수 민감도와 수학 성취도 간의 상관관계를 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 병렬 형식 과제를 통해 측정된 수 민감도에서만 관찰되어, 혼재 형식 과제보다 병렬 형식 과제를 통해 측정된 수 민감도가 예측 타당도가 더 높다

고 판단된다[11, 14, 15, 18, 19].

종합 논의

본 연구의 목적은 혼재 형식과 병렬 형식 수량 비교 과제를 비교하여 초등학생의 수 민감도 측정에 더 적합한 수량 비교 과제의 형식이 무엇인지에 대해 알아보는 것이었다. 연구 결과, 병렬 형식의 수량 비교 과제를 통한 수 민감도의 측정치가 혼재 형식에서보다 아동의 수량 변별 능력을 더 순수하고 정확하게 추정할 뿐만 아니라, 수학 성취도와 상관관계를 보여 구성 타당도와 예측 타당도가 더 높다는 것을 확인하였다. 본 연구는 성인을 대상으로 하여 수량 비교 과제의 자극 제시 형식에 따른 차이를 비교한 Price 외(2012)의 연구에 이어서 아동을 대상으로 혼재 형식과 병렬 형식에 따른 대략적 수 민감도의 차이를 피험자 내 설계로 비교함으로써 아동의 수 민감도 측정을 위한 더 타당한 수량 비교 과제 형식을 제시한 첫 번째 연구라는 점에서 의의가 있다. 또한 단순하게 과제의 수행 차이를 비교한 Price 외(2012)의 성인 연구와 달리 본 연구는 두 과제 형식의 수 민감도 측정치를 구성 타당도와 예측 타당도라는 측면에서 평가, 비교하였다[22]. 본 연구는 또한 선행 연구들에서 연구되지 않은 연령대(만 7~8살 이후)의 아동들의 수 민감도를 측정하였을 뿐만 아니라, 기존에 연구되지 않은 큰 수량의 범위를 사용하여 수 민감도를 정밀하게 측정하였다. 그 결과, 2~4학년 아동의 수 민감도의 범위를 제시하였을 뿐 아니라, 같은 2학년 내에서도 월령에 따라 수 민감도가 좋아짐을 확인할 수 있었다.

혼재 형식보다 병렬 형식의 수량 비교 과제가 더 타당도 높은 수 민감도 측정을 가능케 한다.

혼재 형식 수량 비교 과제는 병렬 형식의 수량 비교 과제보다 추가적인 인지 능력을 요구하는 것으로 보인다. 혼재 형식에서는 두 점 집합이 뒤섞여서 제시되기 때문에, 각 집합의 수량을 순차적으로 추정하기 위하여 한 번에 한 색상의 점

들에 선택적으로 주의를 기울이는 동시에 다른 색상의 점들을 무시 혹은 억제하는 인지 통제 능력, 순차적으로 다른 색깔의 집합에 주의를 주기 위한 주의 전환과 같은 실행 기능 및 복잡한 시각적 자극의 처리를 위한 시공간 작업 기억[26, 27, 28] 등의 영역 일반적인 인지 기능이 추가적으로 요구될 것으로 생각된다[24-29]. 이 밖에도 두 과제 형식 간의 인지적 요구에 대한 차이를 유발할 수 있는 요인이 있다. Leibovich와 Henik(2013)에 의하면 수량 비교 과제에서 점들의 분포 범위, 점들의 총 면적, 점 집합의 둘레 등의 연속적인 양들의 변인이 수량 판단에 영향을 미칠 수 있다고 한다[35]. 본 연구의 병렬 형식 과제에 사용된 점의 분포 범위는 645x271 픽셀인 반면에 혼재 형식 과제에서는 900x600 픽셀로써 후자의 경우에 같은 시간 내에 선택적 주의를 필요로 하는 점들의 분포 범위가 더 넓었다.

연구 결과, 혼재 형식 과제에서 산출한 대략적 수 민감도 수치가 병렬 형식 과제에서보다 유의미하게 낮았으며, 선행 연구에서 보고된 수 민감도 예측된 발달 추이를 고려할 때 매우 과소추정 되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 앞서 언급한 바와 같이 혼재 형식 과제의 추가적인 인지적 요구도로 인한 결과로 해석할 수 있으며, 따라서 병렬 형식 과제가 더 구성 타당도가 높은 수 민감도 측정치를 제공한다고 결론 내릴 수 있다.

병렬 형식 과제를 사용했을 때만이 수 민감도와 수학 성취도와와의 상관관계가 관찰된다.

병렬 형식과 혼재 형식 수량 비교 과제를 통해 추정된 베버 비율과 수학 성취도 간의 상관관계를 분석한 결과, 병렬 형식의 수량 비교 과제로부터 산출된 베버 비율만이 수학 성취도와 유의한 상관관계가 있었다. 이 상관관계는 유동 지능과 월령을 통제한 후에도 여전히 유의하였다. 이러한 결과는 대략적 수 민감도가 다른 인지 능력 혹은 연령과 독립적으로 수학 성취도를 예측한다는 선행 연구의 결론을 지지한다[14, 15, 18, 19, 20]. 이러한 결과에 기초하여 혼재 형식보다 병렬 형식에 기초한 수 민감도 측정치의 예측 타당도가 더 높다고 판단된다. 나아가, 병렬 형식 과제를 통해 추정된 베버 비율만이 월령과 상관관계가 관찰되어 발달 과정에서 수 민감도가 점차 민감해진다는 선행 연구 결과를 뒷받침하였다. 이는 병렬 형

식 과제가 아동의 수 민감도의 연령에 따른 개인차를 더 민감하게 측정할 수 있음을 확인시켜 준다[6, 9, 11, 12].

혼재 형식 과제와 비교하여 병렬 형식 과제에서 통제 조건 간의 수행 차이가 두드러진다.

병렬 형식 수량 비교 과제에서는 총 면적 통제 조건에서보다 크기 통제 조건에서 수량 변별 수행이 좋았다. 이는 크기 통제 조건에서 점들의 총 면적이 현저한 시각적 단서로 작용하기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 혼재 형식 수량 비교 과제에서는 두 점 집합이 뒤섞여 제시되어 각 집합의 총 면적의 차이의 현저성이 감소하여 통제 조건 간의 차이가 감소된 것으로 판단된다[24, 25, 31]. 이러한 결과를 종합하면, 병렬 형식 과제 중에서도 점들의 총 면적의 영향을 배제한 총 면적 통제 조건에서의 수 민감도가 가장 순수하게 수량 변별 능력을 측정한다고 볼 수 있으므로 구성 타당도가 가장 높다고 판단된다. 몇몇 선행 연구에서는 본 연구 결과와 달리 병렬 형식 과제 사용 시에 통제 조건 간에 유의미한 수행 차이를 보고하지 않았다[19, 20]. 이는 선행 연구에서 사용한 과제의 난이도가 본 연구의 과제보다 쉬웠기 때문이라 해석된다. 이들 선행 연구들에서는 자극 제시 시간이 1500ms, 2000ms로 매우 길었으며 비교해야 할 수량 간 비율이 최소 6:7로 본 연구에서보다 높았다(즉, 최고 난이도가 상대적으로 낮았다). 즉, 선행 연구에서와 같이 제시 시간이나 수량 간 비율 등의 측면에서 과제의 난이도가 낮을 경우, 통제 조건 간의 차이를 민감하게 측정하지 못함을 알 수 있다.

결론

본 연구는 아동의 수 민감도를 측정하는 방법으로서 혼재 형식과 병렬 형식 수량 비교 과제의 타당도를 비교하였다. 연구 결과, 혼재 형식에서는 수량 변별 능력 외에 다른 인지 기능에 대한 요구도가 높아 수 민감도를 과소 추정하며, 수 민감도와 수학 성취도와의 상관관계 또한 관찰되지 않았다. 반면, 병렬 형식에 기초한 수량 비교 과제의 수 민감도 측정치는 선행 연구를 고려할 때 그 값의 범위가 적

절하였으며 수학 성취도 및 월령과 유의한 상관관계가 있었다. 따라서 본 연구 결과, 아동의 수 민감도를 더 순수하고 타당하게 측정하는 방법은 병렬 형식의 수량 비교 과제라고 결론 내릴 수 있다.

참고문헌

- [1] Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics*: OUP USA.
- [2] Dehaene, S. (2001). Précis of the number sense. *Mind & Language*, 16(1), 16-36.
- [3] Dehaene, S., Molko, N., Cohen, L., & Wilson, A. J. (2004). Arithmetic and the brain. *Current opinion in neurobiology*, 14(2), 218-224.
- [4] Brannon, E. M., Jordan, K. E., & Jones, S. M. (2010). Behavioral signatures of numerical cognition. *Primate Neuroethology*. Oxford University Press, USA, 144-159.
- [5] Brannon, E. M., & Terrace, H. S. (1998). Ordering of the numerosities 1 to 9 by monkeys. *Science*, 282(5389), 746-749.
- [6] Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S., & Streri, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25), 10382-10385.
- [7] Jordan, K., Brannon, E. M., Logothetis, N. K., & Ghazanfar, A. A. (2005). Monkeys match the number of voices they hear to the number of faces they see. *Current Biology*, 15(11), 1034-1038.
- [8] Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, 306(5695), 499-503.
- [9] Xu, F. and Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition* 74, B1-B11.
- [10] Libertus, M. E., & Brannon, E. M. (2010). Stable individual differences in number discrimination in infancy. *Developmental science*, 13(6), 900-906.
- [11] Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the “number sense”: The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and

- adults. *Developmental psychology*, 44(5), 1457.
- [12] Halberda, J., Ly, R., Wilmer, J. B., Naiman, D. Q., & Germine, L. (2012). Number sense across the lifespan as revealed by a massive Internet-based sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(28), 11116-11120.
- [13] Goldstein, E. B. (2010). *Sensation and perception*. Wadsworth Publishing Company.
- [14] Halberda, J., Mazocco, M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455(7213), 665-668.
- [15] Lourenco, S. F., Bonny, J. W., Fernandez, E. P., & Rao, S. (2012). Nonsymbolic number and cumulative area representations contribute shared and unique variance to symbolic math competence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(46), 18737-18742.
- [16] Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2013). Is approximate number precision a stable predictor of math ability?. *Learning and Individual Differences*, 25, 126-133.
- [17] Halberda, J., Sires, S. F., & Feigenson, L. (2006). Multiple spatially overlapping sets can be enumerated in parallel. *Psychological Science*, 17(7), 572-576.
- [18] Libertus, M. E., Odic, D., & Halberda, J. (2012). Intuitive sense of number correlates with math scores on college-entrance examination. *Acta Psychologica*, 141, 373-379.
- [19] Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschool acuity of the approximate number system correlates with school math ability. *Developmental science*, 14(6), 1292-1300.
- [20] Inglis, M., Attridge, N., Batchelor, S., & Gilmore, C. (2011). Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement: But only in children. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(6), 1222-1229.
- [21] Ansari, D., Lyons, I. M., van Eimeren, L., & Xu, F. (2007). Linking visual attention and number processing in the brain: The role of the temporo-parietal junction in small and large symbolic and nonsymbolic number comparison. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(11), 1845-1853.

- [22] Price, G. R., Palmer, D., Battista, C., & Ansari, D. (2012). Nonsymbolic numerical magnitude comparison: Reliability and validity of different task variants and outcome measures, and their relationship to arithmetic achievement in adults. *Acta psychologica, 140*(1), 50-57.
- [23] Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford, England: Oxford University Press.
- [24] Gilmore, C., Attridge, N., Clayton, S., Cragg, L., Johnson, S., Marlow, N., & Inglis, M. (2013). Individual Differences in Inhibitory Control, Not Non-Verbal Number Acuity, Correlate with Mathematics Achievement. *PLoS one, 8*(6), e67374.
- [25] Fuhs, M. W., & McNeil, N. M. (2013). ANS acuity and mathematics ability in preschoolers from low-income homes: contributions of inhibitory control. *Developmental science, 16*(1), 136-148.
- [26] Cantlon, J. F., Platt, M. L., & Brannon, E. M. (2009). Beyond the number domain. *Trends in cognitive sciences, 13*(2), 83-91.
- [27] van Dijck, J. P., & Fias, W. (2011). A working memory account for spatial-numerical associations. *Cognition, 119*(1), 114-119.
- [28] Tosto, M. G., Petrill, S. A., Halberda, J., Trzaskowski, M., Tikhomirova, T. N., Bogdanova, O. Y., ... & Kovas, Y. (2014). Why do we differ in number sense? Evidence from a genetically sensitive investigation. *Intelligence, 43*, 35-46.
- [29] Ansari, D., Lyons, I. M., van Eimeren, L., & Xu, F. (2007). Linking visual attention and number processing in the brain: The role of the temporo-parietal junction in small and large symbolic and nonsymbolic number comparison. *Journal of Cognitive Neuroscience, 19*(11), 1845-1853.
- [30] 성태재 (1995). **타당도와 신뢰도**. 학지사, 서울.
- [31] DeWind, N. K., & Brannon, E. M. (2012). Malleability of the approximate number system: effects of feedback and training. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*.
- [32] Hurewitz, F., Gelman, R., & Schnitzer, B. (2006). Sometimes area counts more than number. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 103*(51), 19599-19604.
- [33] Mazzocco, M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Impaired acuity of the approximate number system underlies mathematical learning disability (dyscalculia). *Child*

development, 82(4), 1224-1237.

- [34] Piazza, M., Facoetti, A., Trussardi, A. N., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., et al. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition*, 116(1), 33-41.
- [35] Leibovich, T., & Henik, A. (2013). Comparing performance in discrete and continuous comparison tasks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(5), 899-917.

1 차원고접수 : 2014. 02. 07

2 차원고접수 : 2014. 04. 15

최종게재승인 : 2014. 06. 20

(Abstract)

**Comparing Construct and Predictive Validities of the
Measurement of Children's Approximate Number Acuity
Depending on Numerosity Comparison Task Format**

Yunji Park

Soohyun Cho

Department of Psychology, Chung-Ang University

Approximate number sense(hereafter, ANS) is the ability to compare and operate upon numerosity information. The numerosity comparison task is used to measure ANS. However, there is considerable variance among previous reports of ANS acuity which may be related to different task formats used. Here, we aim to investigate whether the format of the numerosity comparison task influences measurements of ANS acuity. We compared two task formats; 1) an intermixed format presenting two intermixed arrays of black and white dots, and 2) a side-by-side format showing two arrays of dots side by side. The intermixed format likely makes additional demands on general cognitive resources for inhibitory control, selective attention, or visuospatial working memory. The performance on the intermixed format was significantly lower than that of the side-by-side format resulting in an underestimation of ANS acuity compared to the expected trajectory of ANS development. In addition, the ANS acuity measured from only the side-by-side format was correlated with children's mathematical achievement and age. Our results demonstrate that measurement of ANS from the side-by-side format has higher construct and predictive validity compared to that of the intermixed format.

Key words : Approximate number sense, numerosity comparison task, task format, inhibitory control, mathematical achievement